

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра сопротивления материалов и теоретической механики

Н.Д. Тагильцев  
Ш.А. Салахутдинов  
Л.В. Горячевских

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ**

Определение расчетного паводкового расхода воды в реке  
Методические указания  
для студентов специальности 270205  
очно-заочной форм обучения и бакалавриата

Екатеринбург  
2011

Печатается по рекомендации методической комиссии ЛИФ.  
Протокол № 1 от 16 сентября 2010г.

Методические указания для определения расчетного паводкового расхода воды в реке для самостоятельной работы студентов всех специальностей, изучающих курс «Инженерная гидрология».

Рецензент доцент, к.т.н. Д.В.Демидов

Редактор Р.В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки Г.И. Романова

---

|                             |                  |                      |
|-----------------------------|------------------|----------------------|
| Подписано в печать 15.09.11 |                  | Поз. 13              |
| Плоская печать              | Формат 60×84 1/8 | Тираж 150 экз.       |
| Заказ №                     | Печ. л. 4,18     | Цена 14 руб. 23 коп. |

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## Общие указания

Гидрологические и гидрометрические исследования вместе с геодезическими и геологическими составляют основу инженерных изысканий для строительства дорог и искусственных сооружений. Они выявляют условия проектирования, строительства и эксплуатации дороги, обеспечивают технико-экономическое обоснование ее трассы и сооружений на ней.

Гидрологические характеристики рассчитываются в соответствии со СНиП 2.01.14 - 83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» в зависимости от степени изученности гидрологического режима водотока. Расчеты основываются на данных гидрометрических наблюдений, опубликованных в официальных документах Государственного комитета СССР и Российской Федерации по гидрометеорологии и контролю природной среды в области гидрологии, а также и на дополнительном учете данных инженерно-гидрометеорологических изысканий.

При определении расчетных гидрологических характеристик, в том числе и максимального стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков, применяются следующие приемы расчетов:

- при наличии данных гидрометрических наблюдений - непосредственно по этим данным;
- при недостаточности данных гидрометрических наблюдений - приведением их к многолетнему периоду по данным рек-аналогов с более длительными рядами наблюдений;
- при отсутствии данных гидрометрических наблюдений - по эмпирическим формулам с применением данных о реках-аналогах и картам, основанным на совокупности результатов наблюдений всей сети гидрометеостанций и постов данного района, включая материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий.

В качестве критерия при определении величины расчетной гидрологической характеристики принимается ежегодная вероятность превышения этой величины, устанавливаемая нормативными документами.

Характеристики водотока определяют генеральные размеры будущего моста или водопропускной трубы.

В соответствии со СНиП 2.05.03-84\* расчет мостов, труб и пойменных насыпей на воздействие водного потока следует производить по гидрографам и водомерным графикам расчетных паводков. Вероятность превышения (ВП) расчетных паводков следует принимать по табл. 1, учитывая категорию дороги и класс сооружения. При этом в районах с малоразвитой сетью автодорог для больших и средних мостов, имеющих особо важное народнохозяйственное значение, при технико-экономическом обосновании ВП допускается принимать 0,33 вместо 1% и 1 вместо 2%.

В районах с развитой сетью автодорог для малых мостов и труб при технико-экономическом обосновании ВП допускается принимать 2 вместо 1%, 3 вместо 2%, 5 вместо 3%, а для труб на дорогах II-с и III-с категорий -10%.

**Нормативные значения ВП максимальных расходов  
расчетных паводков**

| Сооружения              | Категория дорог                                    | Вероятность превышения максимальных расходов расчетных паводков, % |
|-------------------------|--|--|
| Большие и средние мосты | I - III, 1-в, 1-к, II-к и городские улицы и дороги | 1  |
| То же                   | IV, II-в, III-в, III-к, IV-в, IV-к, V, 1-е, и Н-с  | 2  |
| Малые мосты и трубы     | I  | 1  |
| То же                   | II, III, III-п и городские улицы и дороги          | 2  |
| То же                   | IV, IV-п, V и внутрихозяйственные дороги           | 3  |

В расчетно-графической работе студент должен определить расчетный максимальный расход воды в створе мостового перехода по данным многолетних наблюдений двумя методами - методом наибольшего правдоподобия (трехпараметрическое гамма-распределение) и методом моментов (биномиальное распределение вероятностей). При этом необходимо оценить надежность полученных результатов по обоим методам.

### **1. Определение расчетного максимального расхода по данным многолетних гидрометрических наблюдений**

Определение расчетного максимального расхода воды при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности производится путем применения (подбора) аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения. Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если величина относительной средней квадратической ошибки расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10%. В противном случае осуществляется приведение рассматриваемой характеристики к многолетнему периоду методом аналогий.



Репрезентативность (т. е. показательность, достаточность) ряда наблюдений за « $n$ » лет оценивается по рекам-аналогам с числом лет наблюдений  $N$  ( $N > n$  при  $N > 50$  лет). Определение характеристик следует производить, как правило, по однородным гидрологическим рядам.

Для расчета максимумов расходов при наличии продолжительных и репрезентативных рядов наблюдений применяются кривые вероятностей, построенные графически по натурным точкам. Аналитические кривые вероятностей предназначены для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых в области редких повторяемостей. Аналитические кривые вероятностей строятся на клетчатках вероятностей по параметрам  $C_V$  (коэффициент вариации) и соотношению  $C_S/C_V$ , где  $C_S$  - коэффициент асимметрии кривой распределения вероятностей исследуемой характеристики.

В качестве основной аналитической функции распределения принято трехпараметрическое гамма-распределение при любом отношении  $C_S/C_V$ . При  $C_S/C_V > 2$  допускается применять биномиальную кривую распределения или другие функции, но при надлежащем их обосновании.

Параметры аналитических кривых распределения (среднее многолетнее значение  $\bar{Q}$ , коэффициент вариации  $C_V$  и отношение  $C_S/C_V$ ) устанавливаются по гидрометрическим рядам наблюдений за рассматриваемой характеристикой методом наибольшего правдоподобия или методом моментов.

Эмпирическая ежегодная вероятность превышения  $P_T$  гидрологической характеристики определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\%, \quad (1)$$

где  $m$  - порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенного в убывающем порядке (ранжированный ряд);

$n$  - общее число членов ряда.

Результаты расчета по формуле (1) наносятся на клетчатку вероятностей. Тип клетчатки выбирается в соответствии с принятой аналитической функцией распределения и полученным отношением  $C_S/C_V$ . На этой же клетчатке строится и график аналитической функции распределения.

В качестве основной расчетной считается эмпирическая кривая вероятностей, построенная по натурным точкам. Если график аналитической функции практически совпадает с эмпирической кривой, то ею можно пользоваться для вычисления расчетного расхода воды в качестве экстраполирующей функции.

### **1.1. Расчет максимального стока воды рек весеннего половодья методом наибольшего правдоподобия**

Статистическая обработка ряда наблюдений производится в табличной форме в следующем порядке:

- ежегодные максимумы расходов (Q) расставляют в убывающем порядке (ранжируют);
- вычисляют среднее многолетнее значение расхода ( $\bar{Q}$ ):

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}; \quad (2)$$

- вычисляют статистики  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$  по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{(n-1)}, \quad (3)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{(n-1)}, \quad (4)$$

где  $k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$  - модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики;

- по формуле (1) вычисляют ежегодные вероятности превышения максимальных расходов ( $P_i$ );

- по полученным значениям статистик  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$  определяют расчетный коэффициент вариации ( $C_V$ ) и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации  $C_S/C_V$  по специальным номограммам (прил. 1);

- по соотношению  $C_S/C_V$  подбирают клетчатку вероятности (прил. 2), на которой строится спрямленный график аналитической функции по значению  $C_V$  и наносятся натурные точки эмпирической вероятности каждого года.

Если эмпирические точки хорошо совпадают с графиком аналитической функции, то по ней снимаются значения расчетного модульного коэффициента  $k_p$  заданной вероятности превышения. Расчетный максимальный расход половодья определяется при этом по формуле:

$$Q_p = k_p \bar{Q}. \quad (5)$$

Расчеты описанным методом вычисления значений  $k_i$ ,  $\lg k_i$ ,  $k_i \lg k_i$  следует производить с высокой точностью (не менее 5 значащих цифр), так как при суммировании близких по величине разнозначных чисел  $\lg k_i$  и  $k_i \lg k_i$  точность получения конечного результата резко снижается.

Для проверки арифметических действий следует обязательно предварительно определить сумму коэффициентов  $k_i$ , которая должна равняться числу членов ряда, т.е.  $\sum_{i=1}^n k_i = n$ . Несовпадение этого условия говорит об ошибке в подсчете либо  $\bar{Q}$ , либо частных значений  $k_i$ .

В табл. 2 приведен пример определения расчетного максимального расхода половодья р. Сосьва в створе водопоста дер. Денежкино по данным наблюдений с 1942 по 1969 гг.

Подставляя полученные в табл. 2 суммы значений,  $Q_i$ ,  $\lg k_i$  и  $k_i \lg k_i$  соответственно в формулы (2), (3) и (4), вычисляем  $\bar{Q}$ ,  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ :

$$\bar{Q} = \frac{9791}{28} = 349,7 \text{ м}^3/\text{с}; \quad \lambda_2 = -\frac{1,135787}{28-1} = -0,0421;$$

$$\lambda_3 = \frac{1,058124}{28-1} = 0,0392.$$

По найденным значениям  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$  подбираем номограмму таким образом, чтобы точка, соответствующая координатам  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , попала в поле линий номограммы. По этой точке находим значения параметров  $C_V$  и  $C_S$ . В нашем примере подходит номограмма для  $C_V = 0,35 - 0,70$ , по которой снимаем значения  $C_V = 0,43$  и  $C_S = 3C_V$ . Затем на клетчатке вероятностей для  $C_S = 3C_V$  строим график аналитической функции трехпараметрического гамма-распределения в виде прямой, проведенной по линейке, наложенной по левой и правой шкалам при  $C_V = 0,43$  (рис.1). На эту же клетчатку наносим точки эмпирической ежегодной вероятности превышения максимальных расходов воды по значениям  $k_i$  и  $P_i$ , (см. колонки 4 и 7 табл. 2.).

Как видно из графика, эмпирические значения достаточно хорошо уложились на аналитическую линию, следовательно, ею можно пользоваться для экстраполяции значений  $k_i$ , малой вероятности превышений (обеспеченности).

По графику расчетные значения модульного коэффициента обеспеченностью 1, 2 и 3 % будут равны:  $k_{1\%} = 2,4$ ,  $k_{2\%} = 2,2$ ,  $k_{3\%} = 2,04$ . Эти значения желательно уточнять по таблице прил. 3.

Расчетные максимальные расходы воды по формуле (5) получаются равными:

$$Q_{1\%} = k_{1\%} \bar{Q} = 2,3 \cdot 349,7 = 804 \text{ м}^3/\text{с};$$

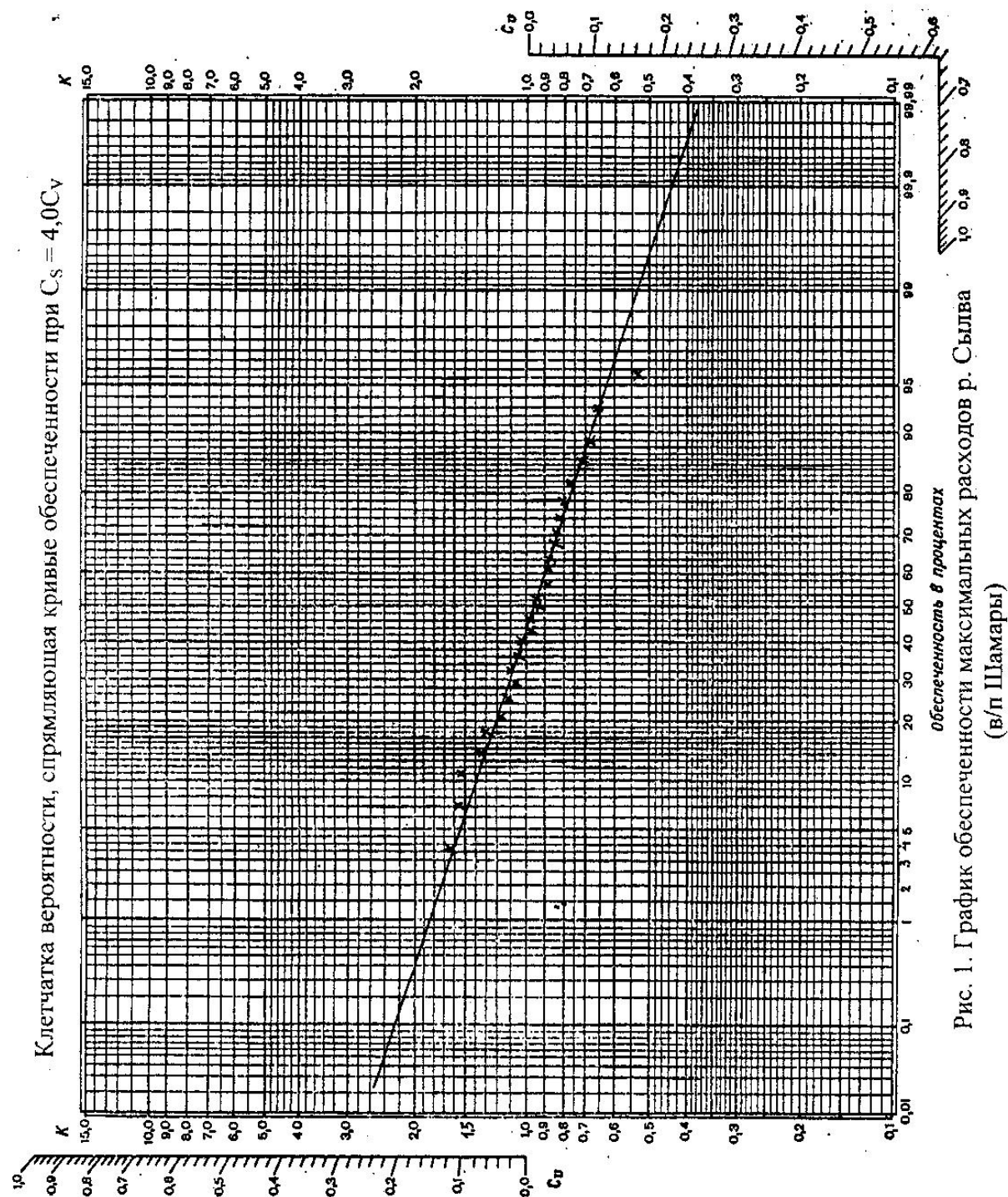
$$Q_{2\%} = k_{2\%} \bar{Q} = 2,1 \cdot 349,7 = 734 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{3\%} = k_{3\%} \bar{Q} = 2,0 \cdot 349,7 = 699 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таблица 2

Определение параметров кривой обеспеченности максимальных расходов  
воды р. Сосьва (водопост Денежкино)

| Номер<br>n/n | Годы     | $Q_i$ ,<br>$\text{м}^3/\text{с}$ | $k_i$     | $\lg k_i$ | $k_i \lg k_i$ | $P_i$ , % |
|--------------|----------|----------------------------------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| 1            | 2        | 3                                | 4         | 5         | 6             | 7         |
| 1            | 1957     | 980                              | 2,802574  | 0,447557  | 1,254312      | 3,4       |
| 2            | 1950     | 567                              | 1,621489  | 0,209914  | 0,340373      | 7,0       |
| 3            | 1948     | 540                              | 1,544275  | 0,188725  | 0,291443      | 10,3      |
| 4            | 1969     | 482                              | 1,378409  | 0,139378  | 0,192120      | 13,3      |
| 5            | 1956     | 470                              | 1,344915  | 0,128288  | 0,172726      | 17,2      |
| 6            | 1967     | 463                              | 1,324073  | 0,121912  | 0,161035      | 20,7      |
| 7            | 1947     | 454                              | 1,298335  | 0,113387  | 0,147214      | 24,1      |
| 8            | 1961     | 409                              | 1,169646  | 0,068054  | 0,079599      | 27,6      |
| 9            | 1964     | 397                              | 1,135328  | 0,055121  | 0,062581      | 31,0      |
| 10           | 1955     | 380                              | 1,086712  | 0,036115  | 0,039246      | 34,5      |
| 11           | 1965     | 380                              | 1,086712  | 0,036115  | 0,039246      | 37,9      |
| 12           | 1943     | 361                              | 1,032377  | 0,013838  | 0,014286      | 41,4      |
| 13           | 1958     | 342                              | 0,978041  | -0,009643 | -0,009431     | 44,8      |
| 14           | 1960     | 339                              | 0,969462  | -0,013469 | -0,013058     | 48,3      |
| 15           | 1968     | 322                              | 0,920846  | -0,035813 | -0,032978     | 51,7      |
| 16           | 1946     | 320                              | 0,915126  | -0,038519 | -0,035250     | 55,2      |
| 17           | 1942     | 296                              | 0,846492  | -0,072377 | -0,061267     | 58,6      |
| 18           | 1952     | 259                              | 0,740680  | -0,130369 | -0,096562     | 62,1      |
| 19           | 1951     | 236                              | 0,674906  | -0,170757 | -0,115245     | 65,5      |
| 20           | 1962     | 220                              | 0,629149  | -0,201246 | -0,126614     | 69,0      |
| 21           | 1963     | 220                              | 0,629149  | -0,201246 | -0,126614     | 72,4      |
| 22           | 1944     | 214                              | 0,611991  | -0,213255 | -0,130510     | 75,9      |
| 23           | 1945     | 212                              | 0,606271  | -0,217333 | -0,131763     | 79,3      |
| 24           | 1953     | 208                              | 0,594832  | -0,225606 | -0,134197     | 82,8      |
| 25           | 1949     | 200                              | 0,571954  | -0,242639 | -0,138778     | 85,2      |
| 26           | 1966     | 190                              | 0,543356  | -0,264915 | -0,143943     | 89,7      |
| 27           | 1959     | 182                              | 0,520478  | -0,283598 | -0,147606     | 93,1      |
| 28           | 1954     | 148                              | 0,423246  | -0,373407 | -0,158043     | 96,6      |
|              | $\Sigma$ | 9791                             | 28,000824 | -1,135787 | 1,058043      |           |



## 1.2. Учет влияния выдающихся величин речного стока на расчетные гидрологические характеристики

Критерием надежности расчетов с применением аналитических кривых вероятностей должно быть требование о том, чтобы вычисленная величина расхода воды расчетной ВП была не менее максимальной, наблюдавшейся за рассматриваемый период времени. Это требование важно для непродолжительных рядов наблюдений при наличии одного или двух вы-

дающихся максимумов. Учет выдающихся максимумов обязателен при анализе максимального стока для проектирования мостового сооружения.

Параметры кривых распределения гидрологических характеристик при наличии обоснованных сведений о выдающихся величинах речного стока следует определять по специальным формулам, приведенным в СНиП 2.01.14-83, в которые входят величины выдающегося расхода  $Q_N$  и число лет  $N'$ , в течение которых выдающееся значение расхода не было превышено.

Использование формул допускается лишь в том случае, когда исторические сведения о выдающемся гидрологическом значении и числе лет его непревышения достаточно обоснованы архивным материалом или получены в результате опроса местных жителей. Произвольное задание  $Q_N$  и  $N'$  недопустимо.

В расчетно-графической работе в связи с отсутствием вариантов заданий сведений о частоте появления редких (резко отличающихся) паводков рекомендуется определить их эмпирическую вероятность превышения по формуле Гипродорции [4]

$$P_{\%} = \frac{m - a}{n + 1 - 2a} \cdot 100 \quad (6)$$

$$\text{при } a = 0,25 + \frac{1}{2,5 \lg a},$$

где  $a$  - параметр, учитывающий длину ряда наблюдений;

$m$  - номер члена в ранжированном ряду;

$n$  - число членов ряда.

Вероятность остальных членов ряда определяться по формуле (1).

## **2. Определение расчетного максимального расхода при недостаточности данных гидрометрических наблюдений**

При определении расчетных гидрометрических характеристик, в частности, расчетного максимального паводкового расхода при наличии короткого ряда наблюдений, необходимо привести их к многолетнему периоду по данным реки-аналога с более длительным рядом наблюдений.

При выборе реки-аналога необходимо учесть следующие условия:

- возможную географическую близость расположения водосборов;
- сходство климатических условий;
- однородность условий формирования стока, однотипность почв (грунтов) и гидрологических условий, по возможности близкую степень озёрности, залесенности, заболоченности, распаханности;

- площади водосборов должны отличаться не более чем в 10 раз, а их средние высоты (для горных рек) - не более чем на 300 м;

- отсутствие факторов, существенно искажающих величину естественного речного стока (регулирование стока, сбросы, изъятие на орошение и другие нужды).

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей гидрологических характеристик ( $Q$ ,  $H$ ,  $h$ ) к многолетнему периоду с применением уравнений регрессии осуществляется при соблюдении следующих условий:

$$n' > 10; \quad R \geq 0,7; \quad \frac{\bar{k}}{\delta_k} \geq 2,$$

где  $n'$  - число лет *совместных* наблюдений;

$R$  - коэффициент корреляции между величинами исследуемой характеристики реки и реки-аналога;

$\bar{k}$  - коэффициент регрессии;

$\delta_k$  - средняя квадратическая ошибка коэффициента регрессии.

Коэффициент корреляции  $R$  вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\sum (Q'_i - \bar{Q}'_n)(Q'_{i,a} - \bar{Q}'_{n,a})}{\sqrt{\sum (Q'_{i,a} - \bar{Q}'_{n,a})^2 \cdot \sum (Q'_i - \bar{Q}'_n)^2}}, \quad (7)$$

где  $Q'_i$  и  $Q'_{i,a}$  - соответственно погодичные максимальные расходы исследуемой реки и реки-аналога за  $n'$  лет;

$\bar{Q}'_n$  и  $\bar{Q}'_{n,a}$  - соответственно средние значения максимальных расходов исследуемой реки и реки-аналога за период  $n'$  лет.

Средняя многолетняя величина  $Q$  для исследуемой реки за  $N$  лет определяется по формуле:

$$\bar{Q}' = \bar{Q}'_n + R \frac{\delta_{n'}}{\delta_{n,a}} (\bar{Q}'_a - \bar{Q}'_{n,a}), \quad (8)$$

где  $\bar{Q}'_n$  и  $\bar{Q}'_{n,a}$  - средние квадратические отклонения гидрологической характеристики соответственно для исследуемой реки и реки-аналога за совместный период наблюдений  $n'$  лет;

$\bar{Q}'_a$  - средняя многолетняя величина максимального расхода реки-аналога за  $N$  лет наблюдений.

Коэффициент вариации максимальных расходов  $C_{V,N}$  исследуемой реки определяется по формуле:

$$C_{V,N} = \frac{\delta_n}{\bar{Q} \sqrt{1 - R^2 \left(1 - \frac{\delta_{n,a}^2}{\delta_{n,a}^2}\right)}}. \quad (9)$$

По найденным  $\bar{Q}$  и  $C_{V,N}$  можно построить теоретическую кривую обеспеченности, пользуясь ранее рассмотренным методом, или по уравнению регрессии (уравнению связи):

$$Q_i = \bar{Q} + K(Q_{i,a} - \bar{Q}_a), \quad (10)$$

где  $k = R \frac{\delta_n}{\delta_{n,a}}$ ;

$$\delta_n = \sqrt{\frac{\sum (Q_i' - \bar{Q}_{n'})^2}{n' - 1}}; \quad \delta_{n,a} = \sqrt{\frac{\sum (Q_{i,a}' - \bar{Q}_{n'a}')^2}{n' - 1}}.$$

Надежность выполняемых расчетов корреляционной связи между исследуемой рекой и рекой-аналогом проверяется вычислением ошибок параметров уравнения регрессии (коэффициента корреляции коэффициента регрессии).

Средние квадратические ошибки коэффициентов корреляции  $\delta_k$  и коэффициента регрессии  $\delta_R$  вычисляют по формулам:

$$\delta_R = \pm \frac{1 - R^2}{\sqrt{n'}}, \quad (11)$$

$$\delta_k = \sqrt{\frac{\sum (Q_i' - \bar{Q}_{n'})^2}{\sum (Q_{i,a}' - \bar{Q}_{n'a}')^2} \cdot \frac{1 - R^2}{\sqrt{n'}}}. \quad (12)$$

Результаты вычислений можно считать приемлемыми при соблюдении условий:

$$\frac{R}{\delta_R} \geq 4; \quad \frac{R}{\delta_K} \geq 2. \quad (13)$$

*Следует, однако, иметь в виду, что в целях получения более тесной связи надо, по возможности, брать более длинные ряды и, кроме того, выбранный ряд должен включать наиболее характерные максимальные и минимальные значения коррелируемых величин.*

В качестве примера рассмотрим возможность установить корреляционную связь между паводковыми расходами воды р. Ивдель (створ г. Ивдель) и р. Сосьва (створ Денежкино).



За исследуемую реку примем р. Ивдель, а р.Сосьву - аналогом. Совместный ряд наблюдений за паводковыми расходами с 1950 по 1961 г.г. включительно, т.е.  $n'=12$  лет.

Реки Ивдель и Сосьва расположены в одном географическом районе, сходны по климатическим условиям, по условиям формирования стока и другим показателям, приведенным выше.

Таблица 3

Характеристики бассейнов р.Ивдель и р.Сосьва

| Наименование рек         | Площадь бассейна км <sup>2</sup> | Высота над уровнем моря, м | Заселенность, % | Заболоченность, % | Озерность, % |
|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------------|
| р.Сосьва (приток Тавды)  | 4390                             | 356                        | 73              | 2                 | <1           |
| р.Ивдель (приток Лозьвы) | 2250                             | 346                        | 84              | 1                 | <1           |

Все расчеты также удобно выполнять в табличной форме.

Для упрощения расчетной таблицы (в оформлении) введем обозначения:

$$Q'_i = x; \quad Q'_{i,a} = y; \quad Q'_i - \bar{Q}_n = \Delta x;$$

$$Q'_{i,a} - \bar{Q}_{n,a} = \Delta y.$$

Контроль табл. 4 производится построчный и общий. Построчный производится по формуле:

$$(\Delta x + \Delta y)^2 = \Delta x^2 + 2\Delta x\Delta y + \Delta y^2. \quad (14)$$

Общий контроль выполняется по строке СУММА по формуле:

$$\sum (\Delta x + \Delta y)^2 = \sum \Delta x^2 + \sum 2\Delta x\Delta y + \sum \Delta y^2. \quad (15)$$

Подставляя в формулу (15) соответствующие значения в строке СУММА, получим:

$$\sum (\Delta x + \Delta y)^2 = 68326 + 2 \cdot 157290 + 56489 = 947796.$$

Та же сумма получается в последней колонке таблицы.

Дальнейшие вычисления элементов корреляции производятся с использованием итоговых данных табл. 4 и принятых в ней обозначений.

Средние квадратические отклонения:

$$\delta_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n'-1}} = \sqrt{\frac{68326}{12-1}} = 78,8;$$

$$\delta_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n'-1}} = \sqrt{\frac{364890}{12-1}} = 22,6.$$

Таблица 4

Определение коррелятивной связи между паводковыми расходами  
р. Ивдель и р. Сосьва за период 1950-1961 гг.

| № п/п   | Годы | Расходы              |                      | $\Delta x$ | $\Delta y$ | $\Delta x \cdot \Delta y$ | $(\Delta x)^2$ | $(\Delta y)^2$ | $(\Delta x + \Delta y)^2 = \Delta x^2 + 2\Delta x \Delta y + \Delta y^2$ |
|---------|------|----------------------|----------------------|------------|------------|---------------------------|----------------|----------------|--|
|         |      | р.Ивдель<br>$x=Q'_i$ | р.Сосьва<br>$y=Q'_i$ |            |            |                           |                |                |  |
| 1       | 1950 | 332                  | 567                  | 164,8      | 190,3      | 31361                     | 27159          | 36214          | 126095   |
| 2       | 1951 | 117                  | 236                  | -50,2      | -140,7     | 7063                      | 2520           | 19796          | 36442  |
| 3       | 1952 | 179                  | 259                  | 11,8       | -117,7     | 1389                      | 139            | 13853          | 11214  |
| 4       | 1953 | 121                  | 208                  | -46,2      | -168,7     | 7794                      | 2134           | 28460          | 46182  |
| 5       | 1954 | 154                  | 148                  | -13,2      | -228,7     | 3019                      | 174            | 52304          | 58516  |
| 6       | 1955 | 133                  | 380                  | -34,2      | 3,3        | -113                      | 1170           | 11             | 955000   |
| 7       | 1956 | 169                  | 470                  | 1,8        | 93,3       | 168                       | 3              | 8705           | 9044   |
| 8       | 1957 | 318                  | 980                  | 150,8      | 603,3      | 90978                     | 22741          | 363971         | 568668   |
| 9       | 1958 | 143                  | 342                  | -24,2      | -34,7      | 840                       | 586            | 1204           | 3470   |
| 10      | 1959 | 90                   | 182                  | -77,2      | -194,7     | 15031                     | 3960           | 37908          | 73930  |
| 11      | 1960 | 92                   | 339                  | -75,2      | -37,7      | 2835                      | 5655           | 1421           | 12746  |
| 12      | 1961 | 158                  | 409                  | -9,2       | 32,3       | -297                      | 85             | 1043           | 534  |
| Сумма   |      | 2006                 | 4520                 | -          | -          | 157290                    | 68326          | 564890         | 947796   |
| Средние |      | 167,2                | 376,7                |            |            |                           |                |                |  |

Коэффициент корреляции:

$$R = \frac{\sum \Delta x \cdot \Delta y}{\sqrt{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}} = \frac{157290}{\sqrt{68326 \cdot 564890}} = 0,8 > 0,7.$$

Коэффициент регрессии:

$$K_{x/y} = R \frac{\delta_x}{\delta_y} = 0,8 \frac{78,8}{226,6} = 0,278.$$

Уравнение прямой регрессии (x/y)

$$x_i = x' + K_{x/y} (y_i - y') = 167,2 + 0,278(y_i - 376,7) = 0,278y + 62,5.$$

Для построения кривой регрессии достаточно задаться двумя значениями y и через две точки провести прямую.

При  $y_1=150$ ;  $x_1=0,278 \cdot 150 + 62,5 \approx 104$ ;  
 $y_2=600$ .  $x_2=0,278 \cdot 600 + 62,5 \approx 229$ .

Средние квадратические отклонения коэффициентов корреляции и регрессии:

$$G = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n'}} = \frac{1 - 0,8^2}{\sqrt{12}} = 0,104, \quad \frac{R}{G} = \frac{0,8}{0,104} = 7,7 > 4;$$

$$G = \sqrt{\frac{(\Delta x)^2}{(\Delta y)^2} \cdot \frac{1 - R^2}{\sqrt{n'}}} = \sqrt{\frac{68326}{564890} \cdot \frac{1 - 0,8^2}{\sqrt{12}}} = 0,06425.$$

Отношение  $\frac{k}{\delta_k} = \frac{0,278}{0,06425} = 4,3 > 2$ .

Это значит, что все условия при выборе реки-аналога удовлетворены, корреляционная связь между паводковыми расходами установлена. Уравнение регрессии  $x=0.278y-62.5$ ,  $R=0.8$

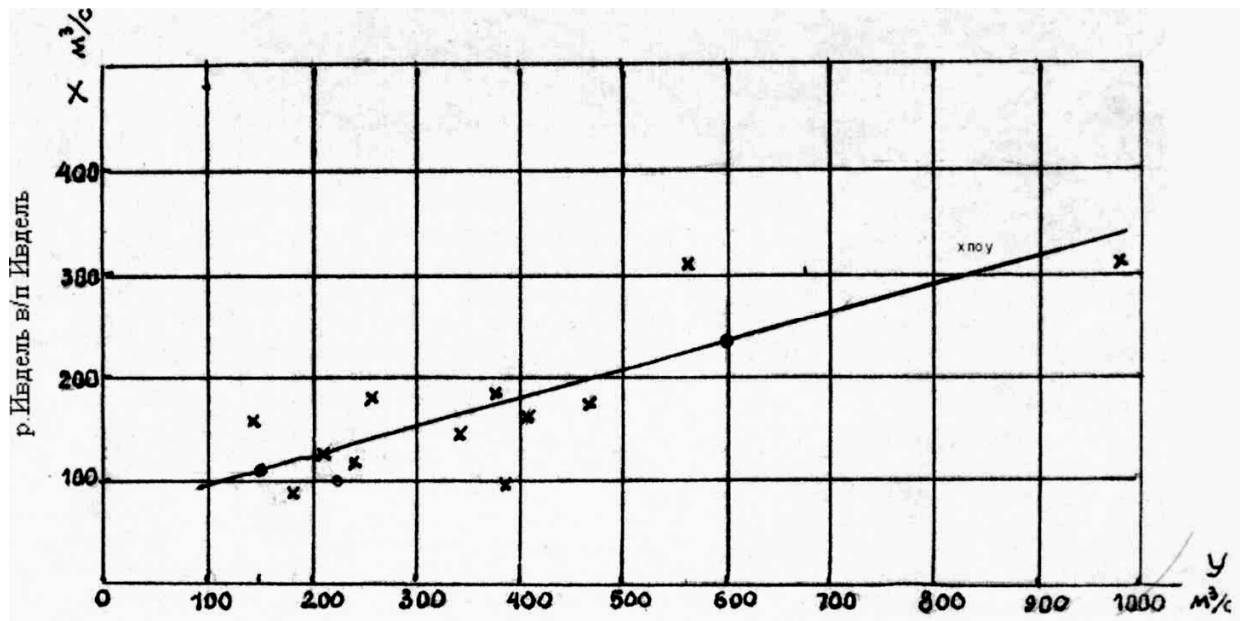


Рис. 2. График связи паводковых расходов р.Ивдель (в/п Ивдель) и р. Сосьва (в/пост «Денежкино»)

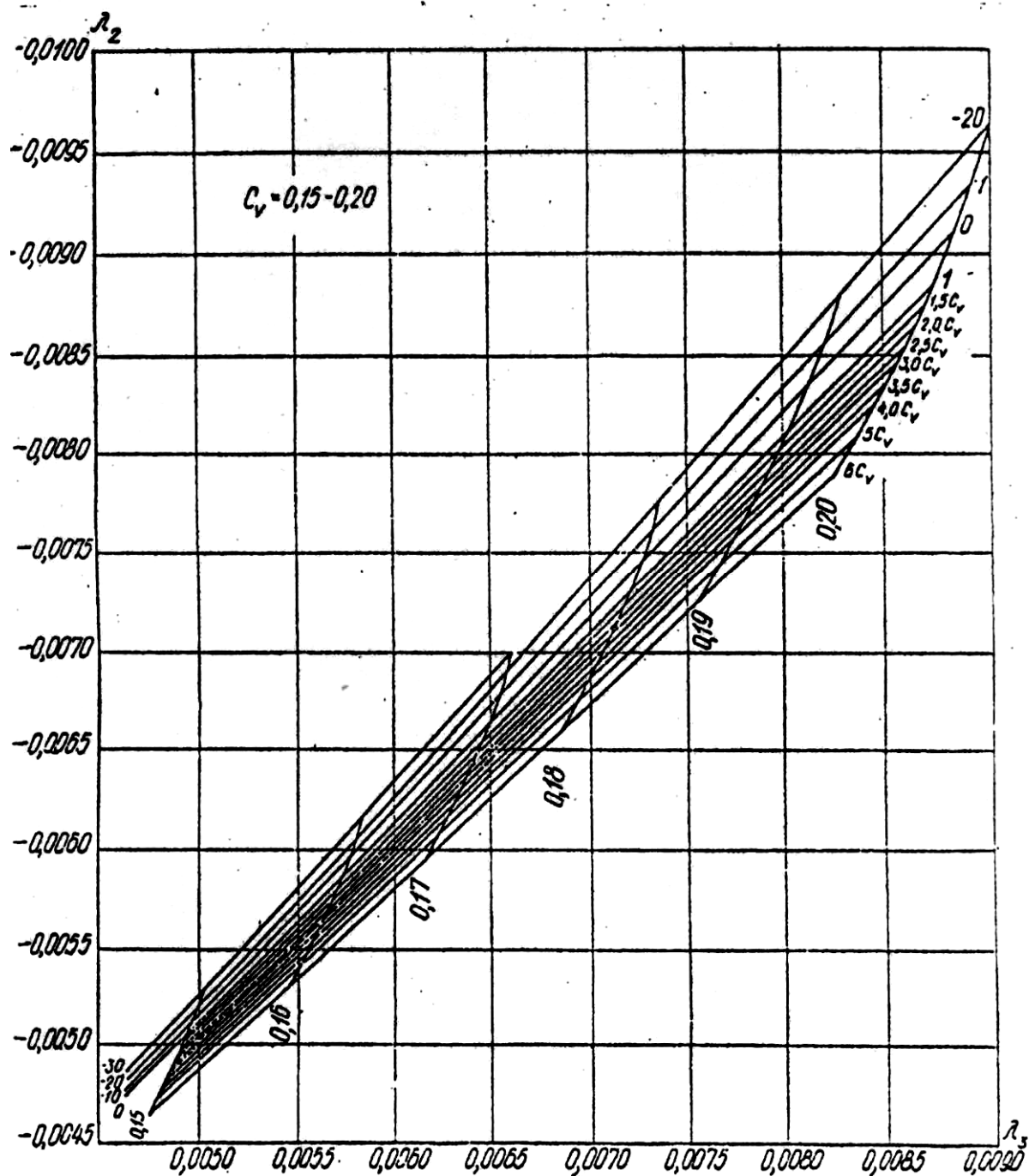
### Рекомендуемая литература

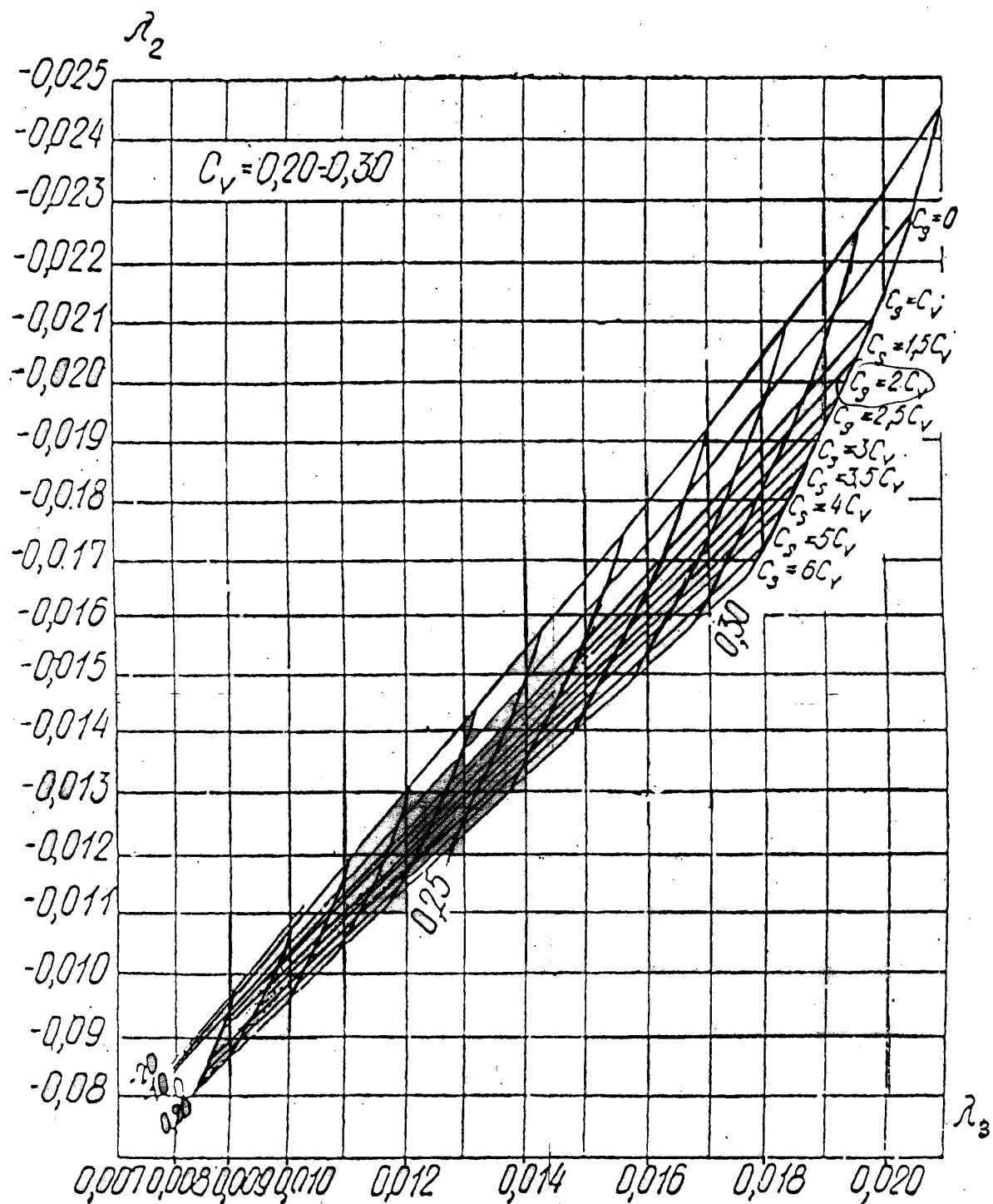
1. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик [Текст]. М.: Госстрой СССР, 1985.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик [Текст]. Л.: Гидрометеиздат, 1984.
3. Перевозников Б.Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений [Текст] / Б.Ф. Перевозников. М.: «Транспорт», 1975.

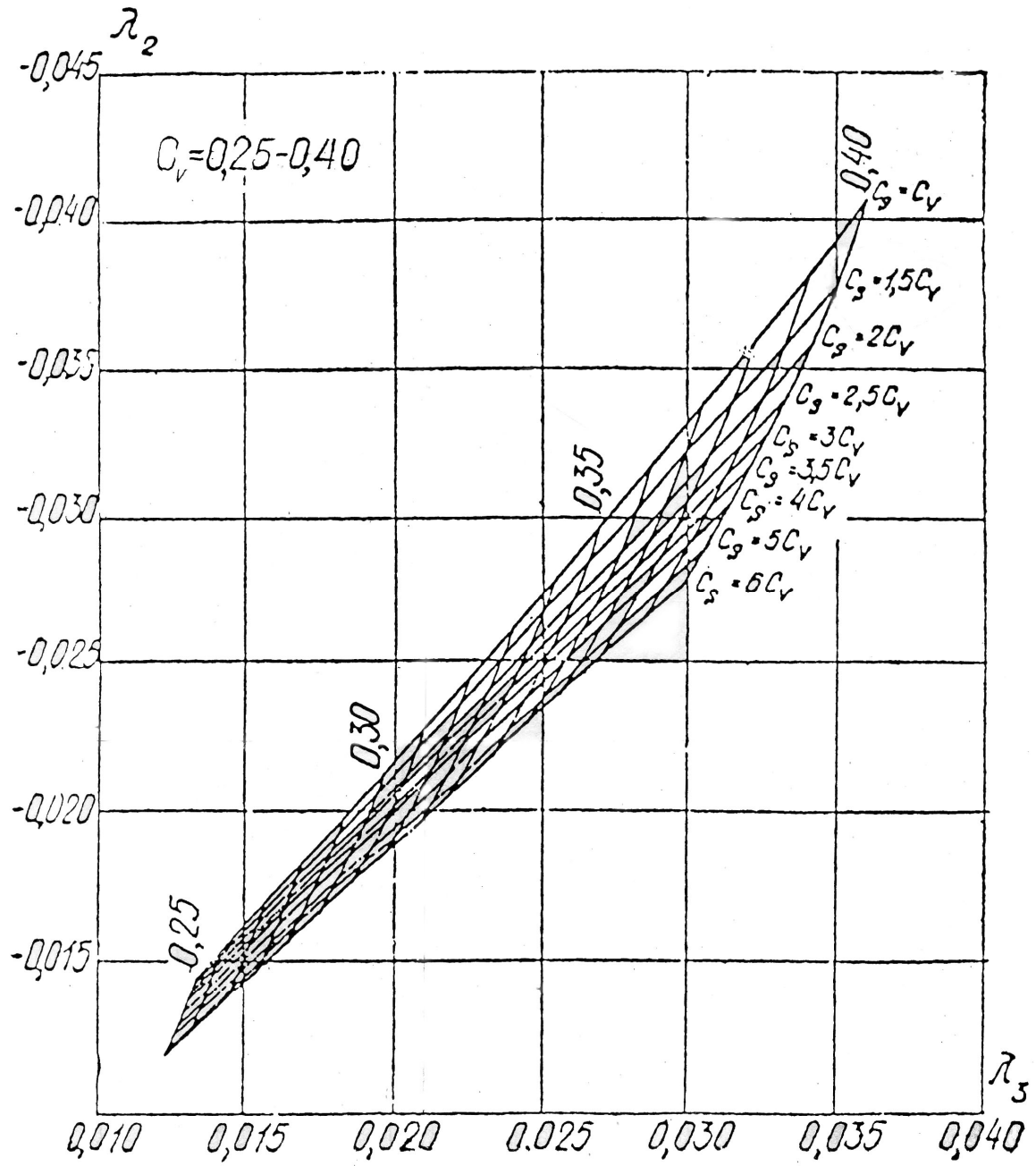
4. Методические рекомендации по расчетам мостовых переходов [Текст]. М.: «Гипродорции», 1987.

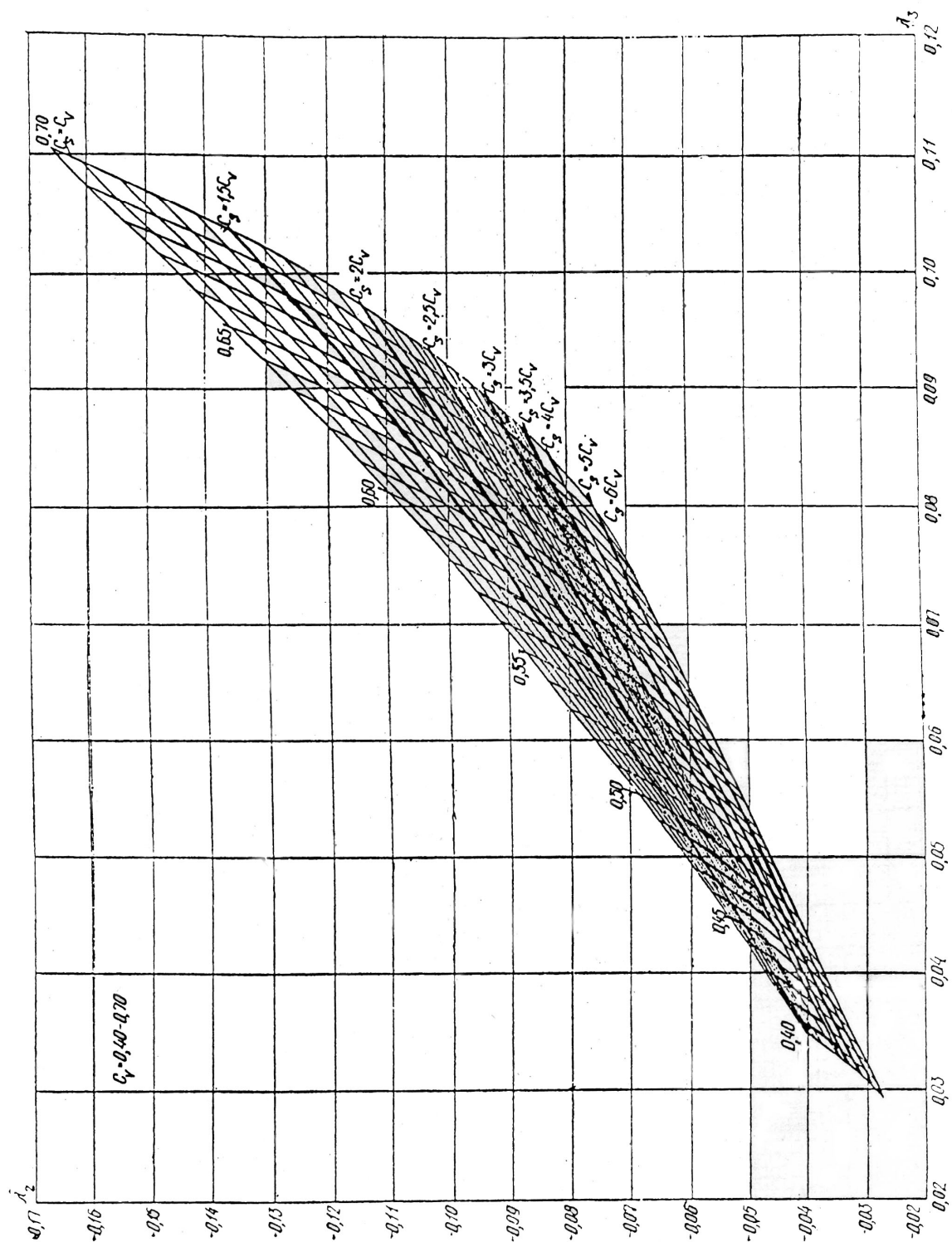
# Приложение 1

Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения  $C_v$ ,  $C_s$  методом наибольшего правдоподобия при  $C_v=0.15-1.40$



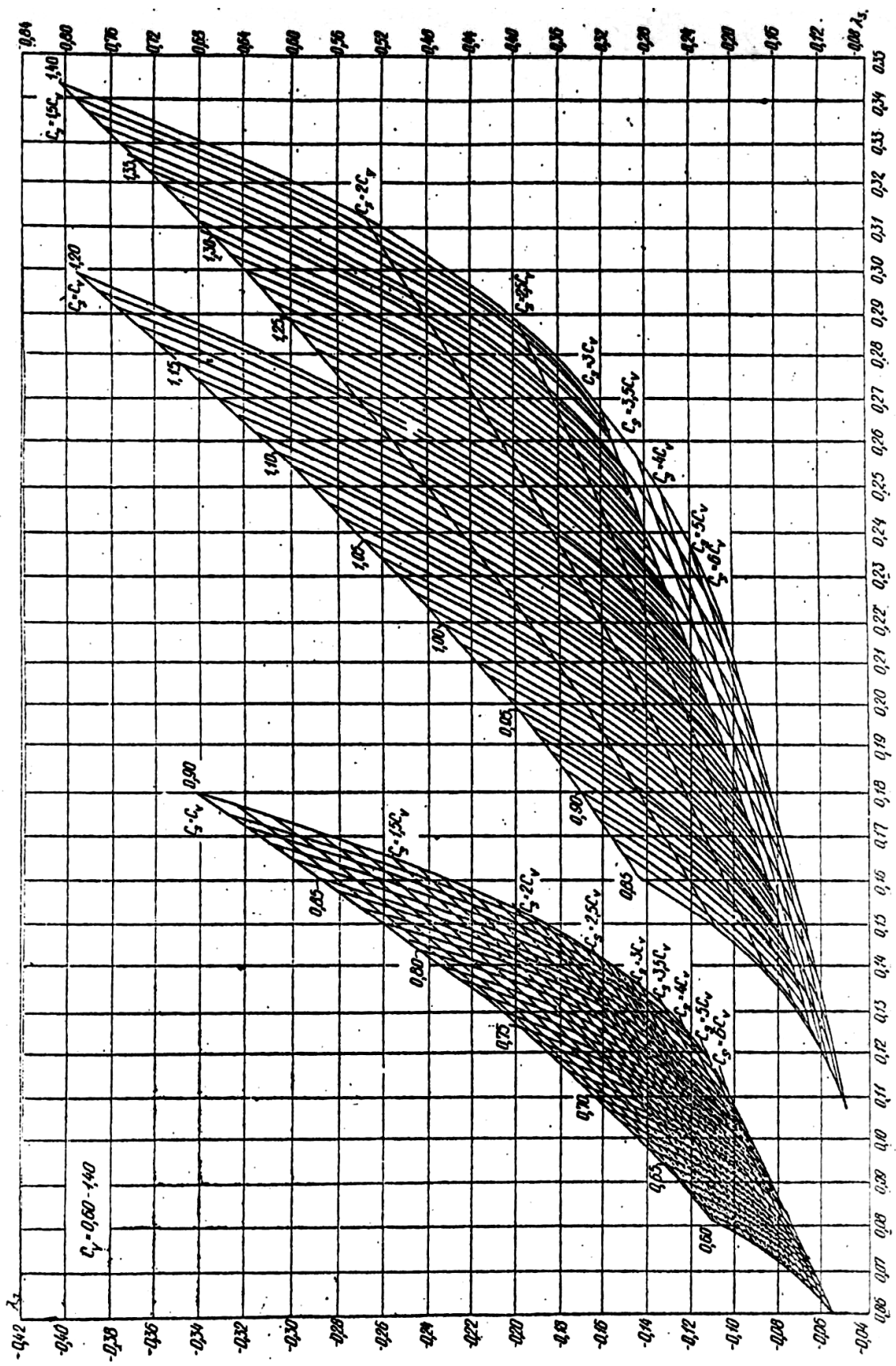


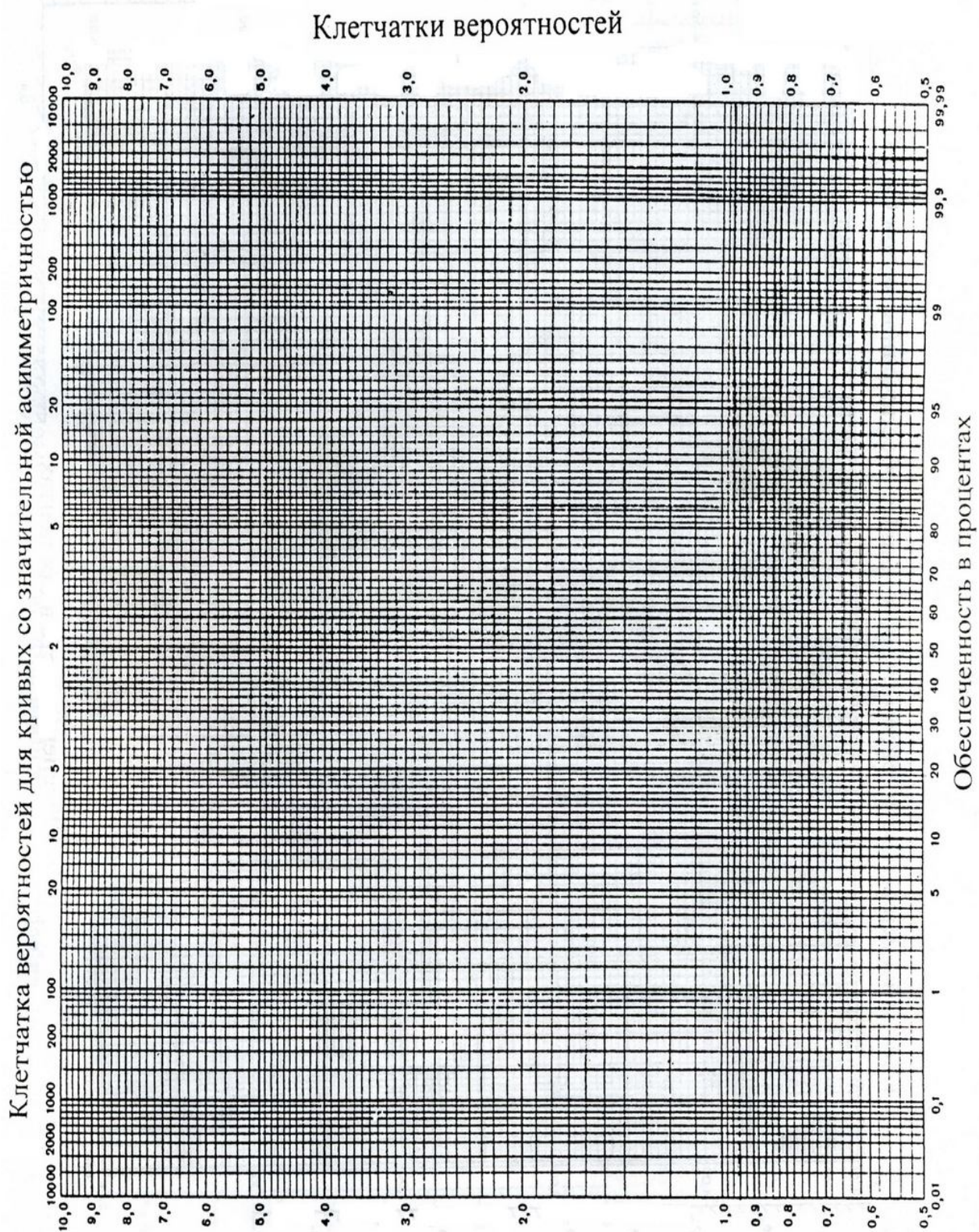




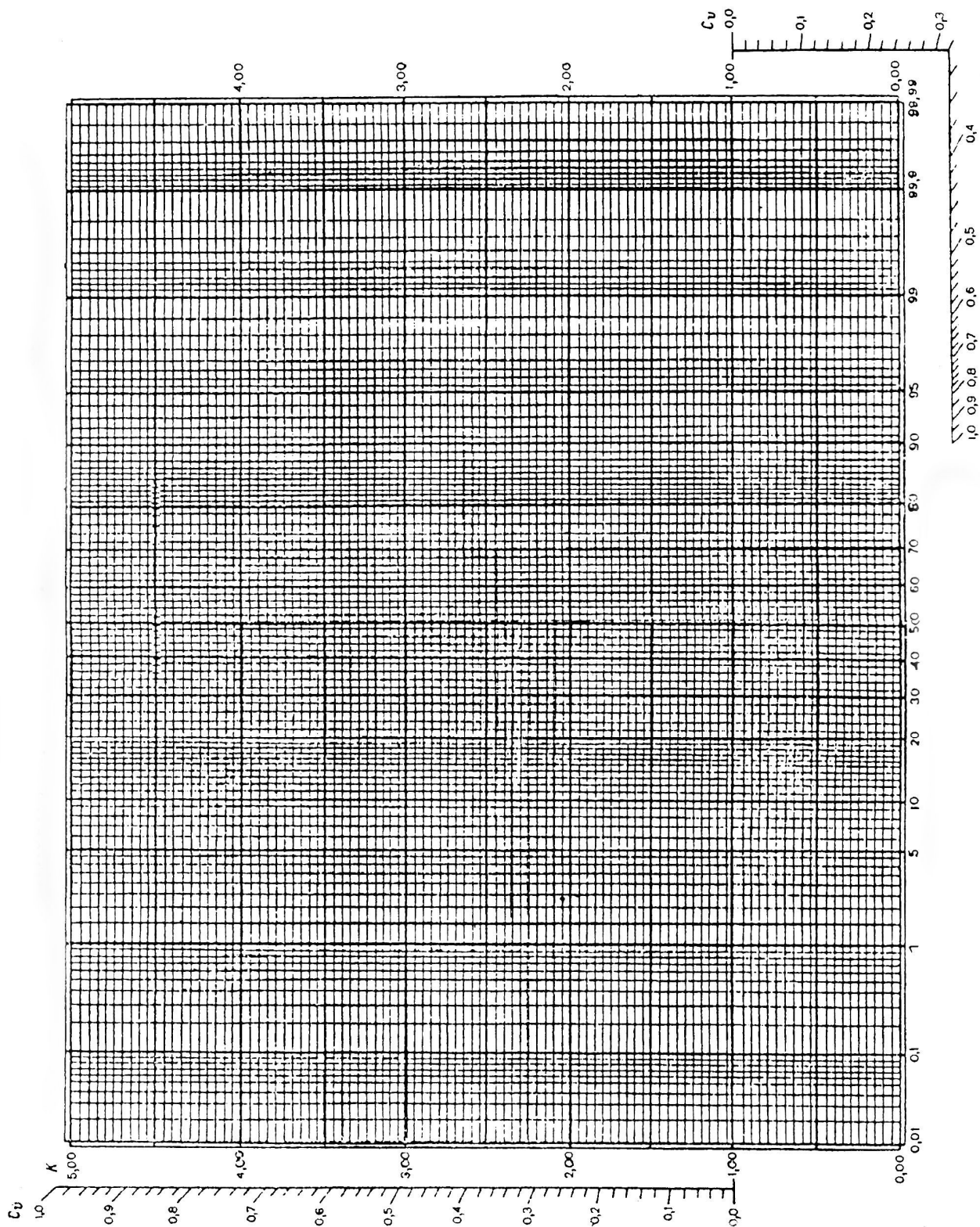
Окончание прил. 1





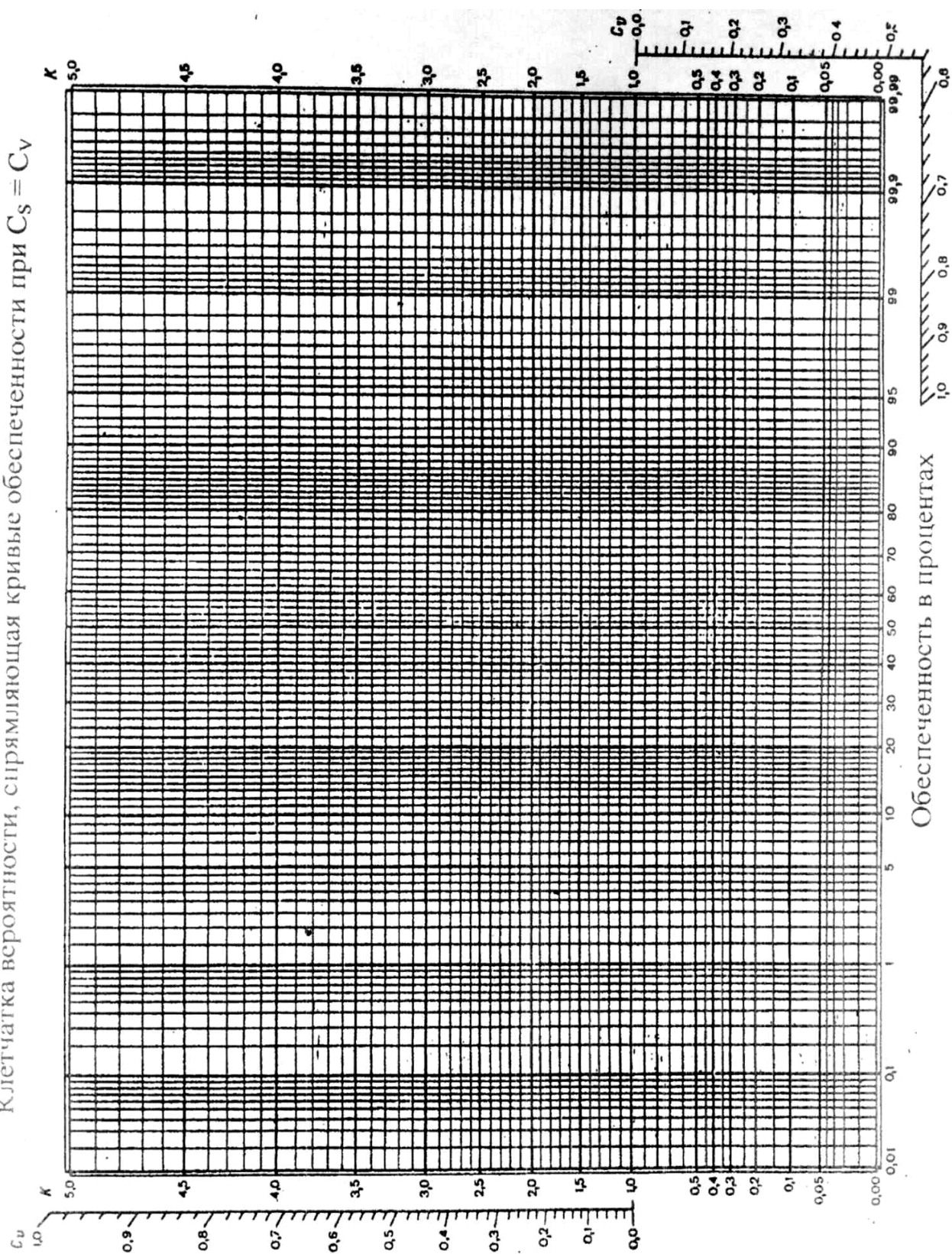




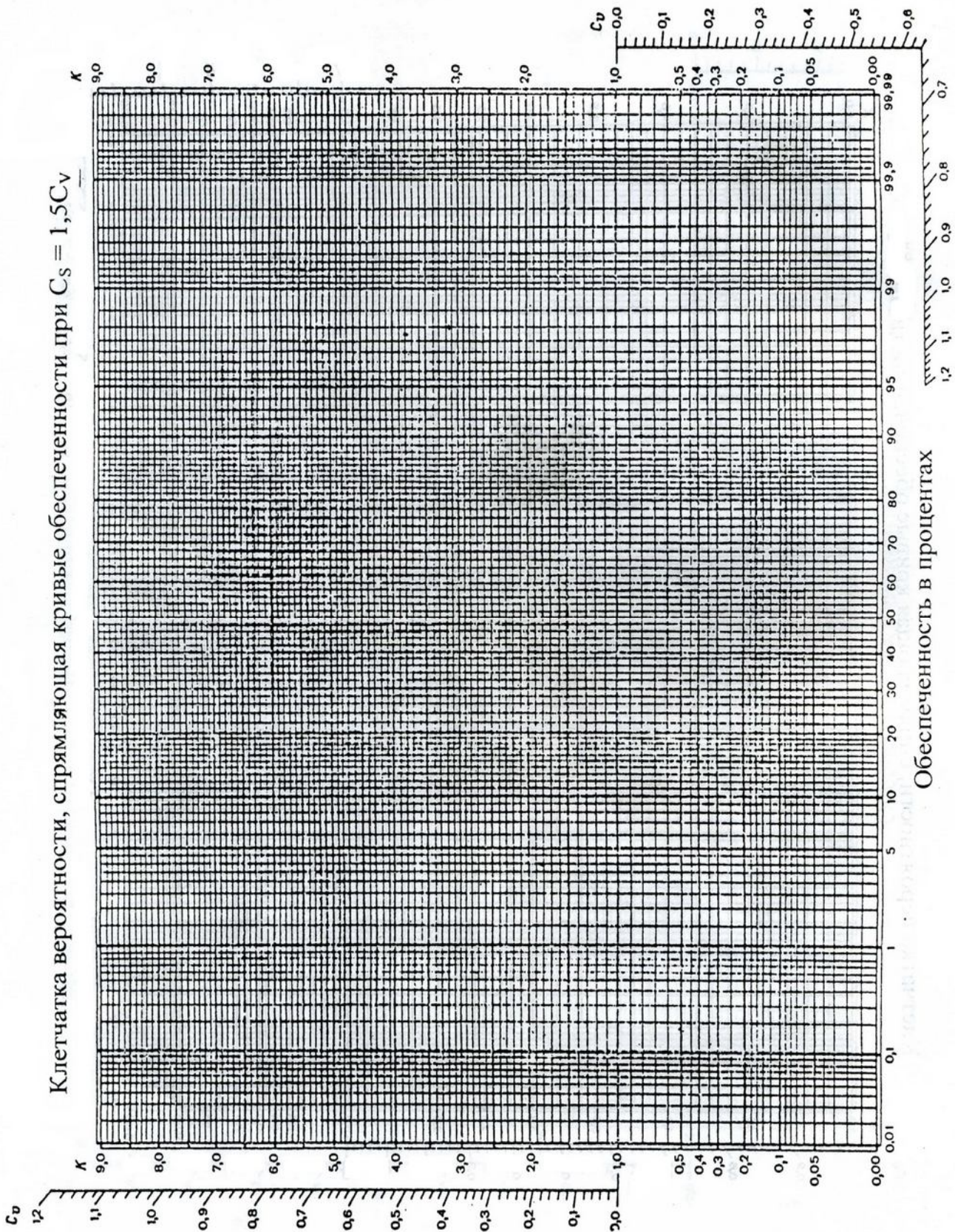


Продолжение прил. 2

Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при  $C_S = C_v$

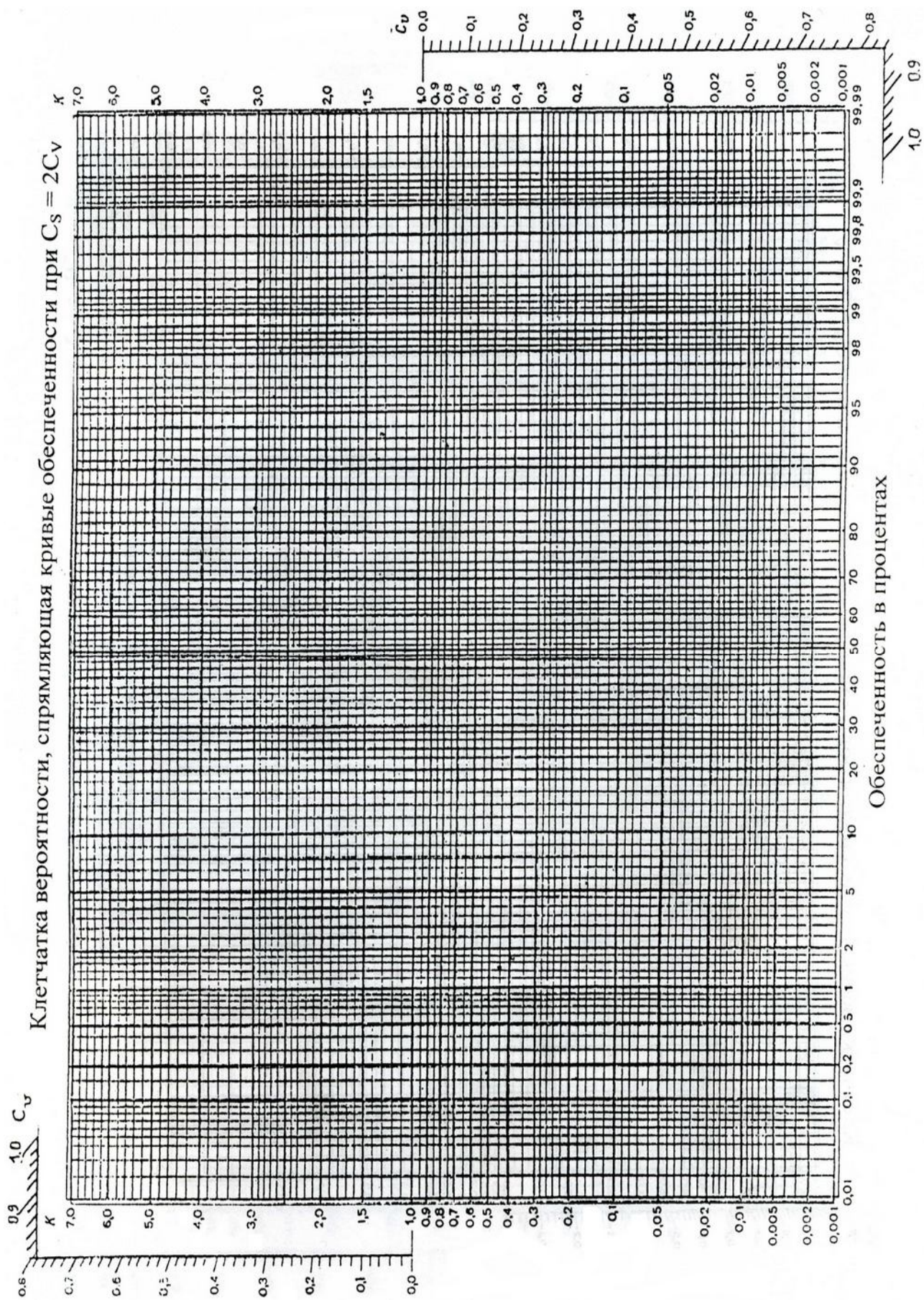




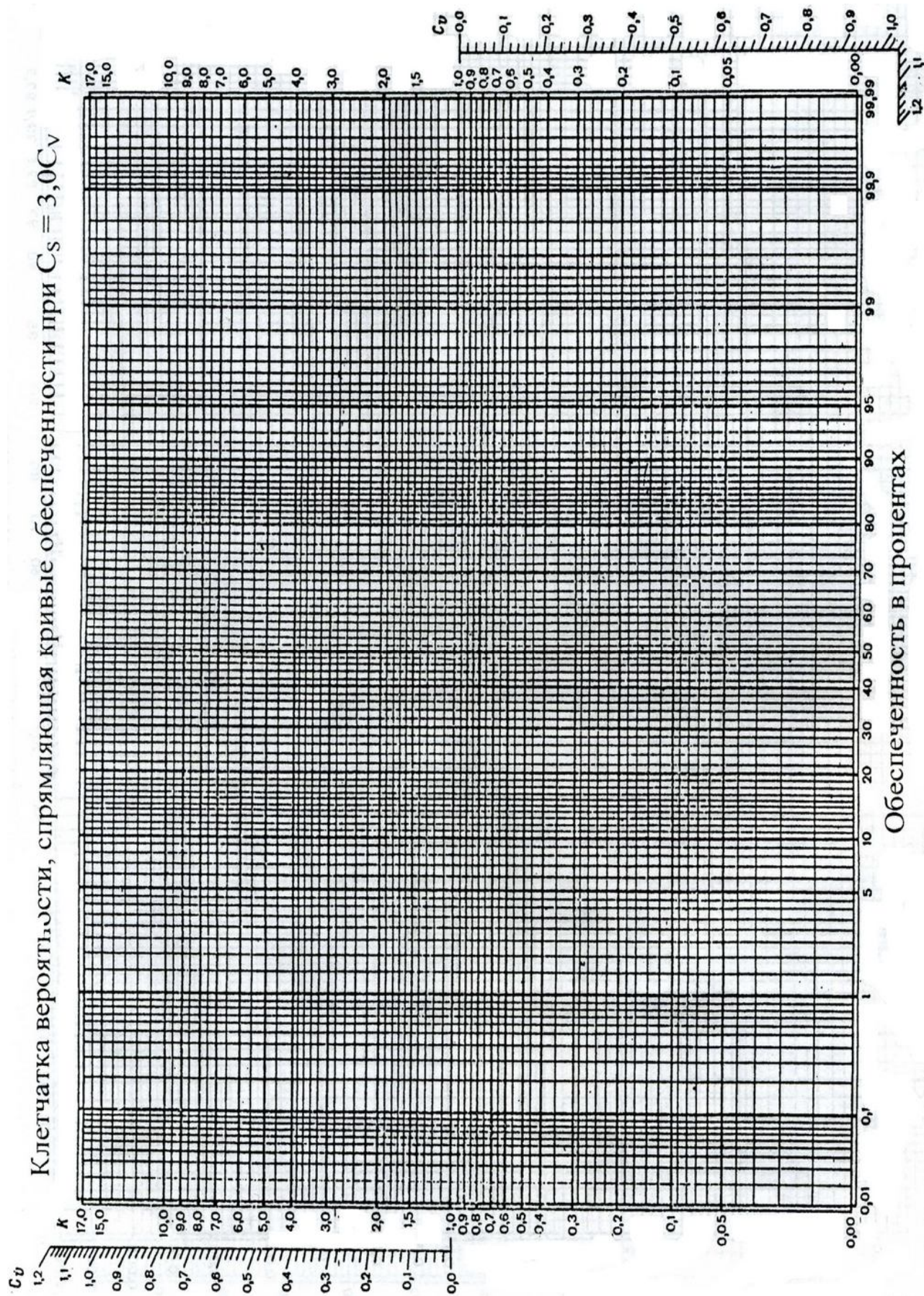


Продолжение прил. 2



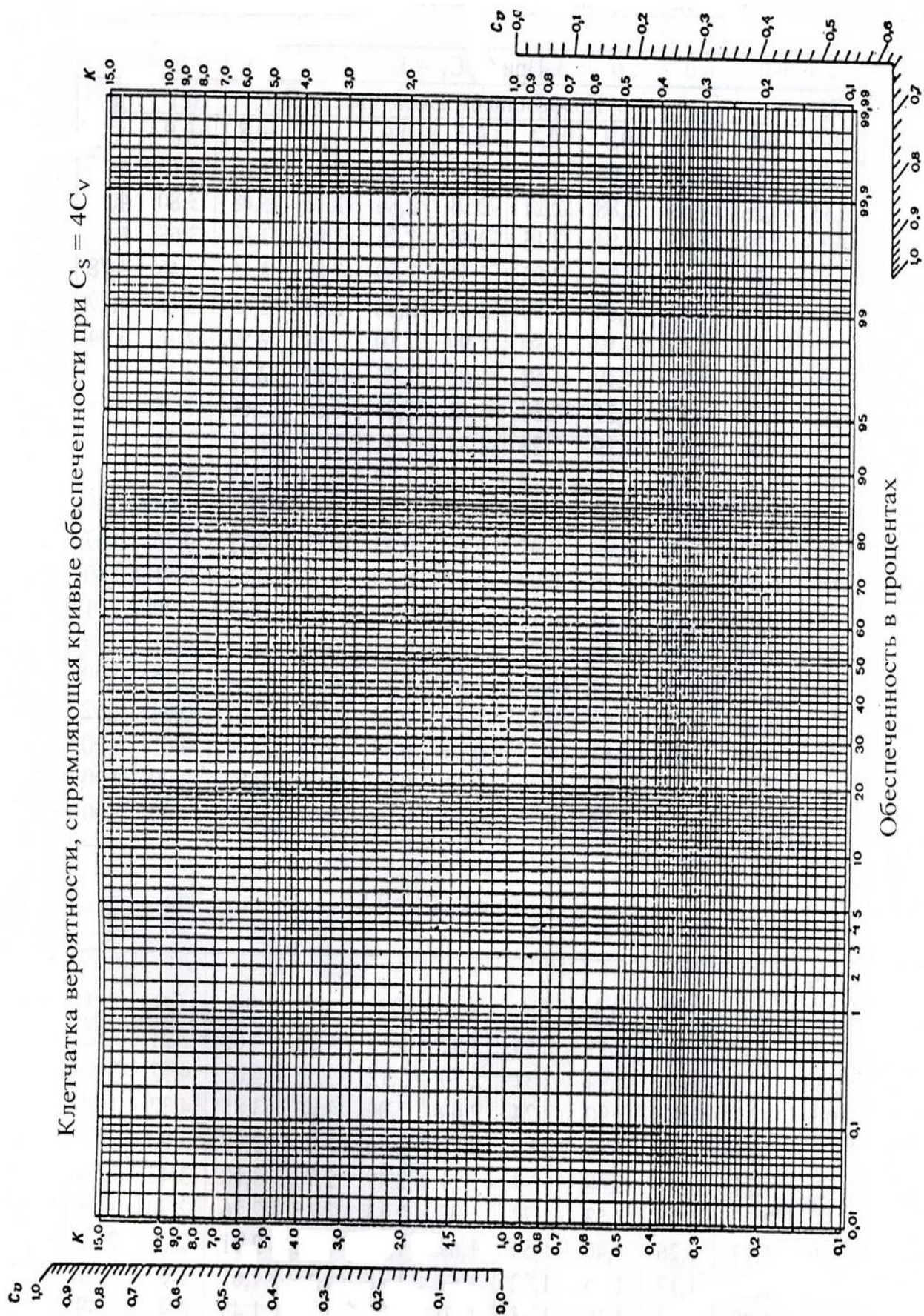






Окончание прил. 2







Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения

| При $C_S/C_V = 1$   |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P, %                | Коэффициент изменчивости $C_V$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1                            | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,32                           | 1,67 | 2,03 | 2,39 | 2,77 | 3,14 | 3,48 | 3,82 | 4,13 | 4,44 |
| 0,33                | 1,28                           | 1,58 | 1,88 | 2,21 | 2,53 | 2,86 | 3,18 | 3,48 | 3,80 | 4,12 |
| 0,5                 | 1,27                           | 1,55 | 1,84 | 2,15 | 2,45 | 2,76 | 3,06 | 3,37 | 3,68 | 4,00 |
| 1                   | 1,24                           | 1,49 | 1,75 | 2,03 | 2,31 | 2,59 | 2,87 | 3,15 | 3,45 | 3,78 |
| 2                   | 1,21                           | 1,43 | 1,64 | 1,90 | 2,14 | 2,38 | 2,63 | 2,89 | 3,18 | 3,49 |
| 5                   | 1,17                           | 1,34 | 1,52 | 1,70 | 1,90 | 2,10 | 2,31 | 2,52 | 2,76 | 3,04 |
| 10                  | 1,13                           | 1,26 | 1,39 | 1,53 | 1,68 | 1,83 | 1,99 | 2,16 | 2,35 | 2,57 |
| 20                  | 1,08                           | 1,17 | 1,25 | 1,34 | 1,42 | 1,51 | 1,59 | 1,69 | 1,78 | 1,88 |
| 25                  | 1,06                           | 1,13 | 1,19 | 1,26 | 1,33 | 1,41 | 1,47 | 1,52 | 1,58 | 1,62 |
| 30                  | 1,05                           | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,24 | 1,29 | 1,34 | 1,38 | 1,40 | 1,39 |
| 40                  | 1,02                           | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,05 | 0,99 |
| 50                  | 1,00                           | 0,99 | 0,99 | 0,97 | 0,96 | 0,93 | 0,89 | 0,83 | 0,76 | 0,67 |
| 60                  | 0,97                           | 0,94 | 0,90 | 0,87 | 0,83 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,51 | 0,40 |
| 70                  | 0,95                           | 0,89 | 0,83 | 0,77 | 0,70 | 0,62 | 0,51 | 0,41 | 0,30 | 0,21 |
| 75                  | 0,93                           | 0,86 | 0,78 | 0,71 | 0,62 | 0,53 | 0,42 | 0,31 | 0,21 | 0,14 |
| 80                  | 0,91                           | 0,83 | 0,74 | 0,65 | 0,55 | 0,45 | 0,35 | 0,24 | 0,15 | 0,09 |
| 90                  | 0,88                           | 0,75 | 0,63 | 0,50 | 0,38 | 0,26 | 0,17 | 0,09 | 0,04 | 0,02 |
| 95                  | 0,84                           | 0,68 | 0,53 | 0,38 | 0,26 | 0,15 | 0,08 | 0,04 | 0,01 | 0,00 |
| 97                  | 0,82                           | 0,64 | 0,48 | 0,33 | 0,21 | 0,11 | 0,05 | 0,02 | 0,00 | 0,00 |
| 99                  | 0,78                           | 0,57 | 0,38 | 0,23 | 0,12 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| При $C_S/C_V = 1,5$ |                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| P, %                | $C_V$                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1                            | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,33                           | 1,70 | 2,11 | 2,54 | 3,02 | 3,53 | 4,05 | 4,60 | 5,21 | 5,82 |
| 0,33                | 1,28                           | 1,60 | 1,94 | 2,31 | 2,70 | 3,12 | 3,55 | 4,02 | 4,52 | 5,04 |
| 0,5                 | 1,27                           | 1,57 | 1,90 | 2,24 | 2,60 | 3,00 | 3,42 | 3,85 | 4,32 | 4,79 |
| 1                   | 1,24                           | 1,51 | 1,79 | 2,09 | 2,41 | 2,76 | 3,11 | 3,49 | 3,90 | 4,31 |
| 2                   | 1,21                           | 1,44 | 1,68 | 1,94 | 2,21 | 2,49 | 2,79 | 3,10 | 3,42 | 3,76 |
| 5                   | 1,17                           | 1,37 | 1,53 | 1,72 | 1,92 | 2,13 | 2,35 | 2,56 | 2,80 | 3,05 |
| 10                  | 1,13                           | 1,26 | 1,40 | 1,54 | 1,69 | 1,82 | 1,96 | 2,11 | 2,27 | 2,42 |
| 20                  | 1,10                           | 1,17 | 1,25 | 1,32 | 1,41 | 1,48 | 1,55 | 1,61 | 1,67 | 1,72 |
| 25                  | 1,07                           | 1,13 | 1,19 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,43 | 1,46 | 1,49 |
| 30                  | 1,05                           | 1,10 | 1,14 | 1,18 | 1,20 | 1,24 | 1,26 | 1,28 | 1,30 | 1,29 |

Продолжение прил. 3

| P, %                                     | C <sub>v</sub> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|  | 0,1            | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 40                                       | 1,03           | 1,02 | 1,07 | 1,06 | 1,06 | 1,06 | 1,05 | 1,03 | 0,00 | 0,95 |
| 50                                       | 1,00           | 0,99 | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,86 | 0,81 | 0,76 | 0,70 |
| 60                                       | 0,97           | 0,94 | 0,90 | 0,86 | 0,81 | 0,76 | 0,70 | 0,63 | 0,56 | 0,48 |
| 70                                       | 0,95           | 0,89 | 0,83 | 0,76 | 0,69 | 0,62 | 0,55 | 0,46 | 0,38 | 0,30 |
| 75                                       | 0,93           | 0,86 | 0,78 | 0,71 | 0,63 | 0,55 | 0,46 | 0,38 | 0,30 | 0,22 |
| 80                                       | 0,91           | 0,80 | 0,74 | 0,65 | 0,57 | 0,47 | 0,39 | 0,31 | 0,23 | 0,16 |
| 90                                       | 0,87           | 0,75 | 0,63 | 0,52 | 0,41 | 0,31 | 0,22 | 0,15 | 0,09 | 0,05 |
| 95                                       | 0,84           | 0,69 | 0,55 | 0,42 | 0,31 | 0,21 | 0,14 | 0,08 | 0,04 | 0,02 |
| 97                                       | 0,82           | 0,65 | 0,50 | 0,36 | 0,25 | 0,15 | 0,09 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |
| 99                                       | 0,78           | 0,58 | 0,41 | 0,27 | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,00 |
| При C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub> = 2,0 |                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| P, %                                     | C <sub>v</sub> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|  | 0,1            | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                                     | 1,34           | 1,73 | 2,19 | 2,70 | 3,27 | 3,89 | 4,57 | 5,30 | 6,08 | 6,91 |
| 0,33                                     | 1,29           | 1,62 | 2,00 | 2,42 | 2,87 | 3,36 | 3,88 | 4,47 | 5,06 | 5,68 |
| 0,5                                      | 1,28           | 1,59 | 1,94 | 2,33 | 2,74 | 3,20 | 3,68 | 4,19 | 4,73 | 5,30 |
| 1  | 1,25           | 1,52 | 1,83 | 2,16 | 2,51 | 2,89 | 3,29 | 3,71 | 4,15 | 4,61 |
| 2  | 1,22           | 1,45 | 1,72 | 1,99 | 2,27 | 2,58 | 2,89 | 3,24 | 3,53 | 3,85 |
| 5  | 1,17           | 1,35 | 1,54 | 1,74 | 1,94 | 2,15 | 2,36 | 2,57 | 2,78 | 3,00 |
| 10                                       | 1,13           | 1,26 | 1,40 | 1,53 | 1,67 | 1,81 | 1,94 | 2,06 | 2,19 | 2,30 |
| 20                                       | 1,08           | 1,16 | 1,24 | 1,31 | 1,38 | 1,44 | 1,49 | 1,54 | 1,58 | 1,61 |
| 25                                       | 1,07           | 1,13 | 1,18 | 1,23 | 1,28 | 1,31 | 1,34 | 1,37 | 1,38 | 1,39 |
| 30                                       | 1,05           | 1,09 | 1,13 | 1,17 | 1,21 | 1,21 | 1,22 | 1,22 | 1,22 | 1,20 |
| 40                                       | 1,02           | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,01 | 0,99 | 0,96 | 0,92 |
| 50                                       | 1,00           | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,80 | 0,75 | 0,69 |
| 60                                       | 0,97           | 0,94 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,69 | 0,63 | 0,57 | 0,51 |
| 70                                       | 0,95           | 0,89 | 0,82 | 0,76 | 0,69 | 0,62 | 0,55 | 0,49 | 0,42 | 0,36 |
| 75                                       | 0,93           | 0,86 | 0,78 | 0,71 | 0,63 | 0,56 | 0,49 | 0,42 | 0,35 | 0,29 |
| 80                                       | 0,92           | 0,83 | 0,75 | 0,66 | 0,57 | 0,49 | 0,42 | 0,35 | 0,28 | 0,22 |
| 90                                       | 0,87           | 0,75 | 0,64 | 0,53 | 0,44 | 0,35 | 0,27 | 0,21 | 0,15 | 0,11 |
| 95                                       | 0,84           | 0,70 | 0,56 | 0,45 | 0,34 | 0,25 | 0,18 | 0,13 | 0,08 | 0,05 |
| 97                                       | 0,82           | 0,66 | 0,52 | 0,39 | 0,29 | 0,20 | 0,14 | 0,09 | 0,05 | 0,03 |
| 99                                       | 0,78           | 0,59 | 0,44 | 0,31 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,04 | 0,02 | 0,01 |

Продолжение прил. 3

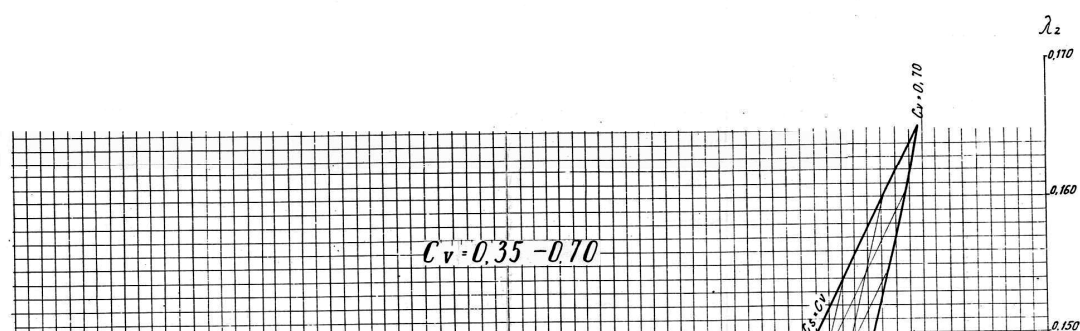
| При $C_S/C_V = 3,0$ |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P, %                | $C_V$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,35  | 1,80 | 2,36 | 3,00 | 3,75 | 4,58 | 5,43 | 6,31 | 7,33 | 8,43 |
| 0,33                | 1,30  | 1,67 | 2,08 | 2,60 | 3,18 | 3,74 | 4,16 | 4,96 | 5,68 | 6,44 |
| 0,5                 | 1,29  | 1,63 | 2,02 | 2,48 | 3,00 | 3,50 | 4,06 | 4,64 | 5,21 | 5,85 |
| 1                   | 1,25  | 1,55 | 1,88 | 2,25 | 2,66 | 3,07 | 3,49 | 3,92 | 4,40 | 4,88 |
| 2                   | 1,22  | 1,47 | 1,75 | 2,03 | 2,33 | 2,55 | 2,96 | 3,30 | 3,64 | 4,00 |
| 5                   | 1,17  | 1,36 | 1,54 | 1,75 | 1,94 | 2,14 | 2,35 | 2,51 | 2,70 | 2,89 |
| 10                  | 1,14  | 1,26 | 1,39 | 1,52 | 1,63 | 1,76 | 1,87 | 1,97 | 2,09 | 2,15 |
| 20                  | 1,09  | 1,16 | 1,23 | 1,29 | 1,33 | 1,38 | 1,42 | 1,45 | 1,47 | 1,49 |
| 25                  | 1,07  | 1,12 | 1,17 | 1,21 | 1,23 | 1,26 | 1,27 | 1,29 | 1,28 | 1,28 |
| 30                  | 1,05  | 1,09 | 1,12 | 1,14 | 1,15 | 1,15 | 1,16 | 1,15 | 1,14 | 1,13 |
| 40                  | 1,02  | 1,03 | 1,03 | 1,03 | 1,01 | 1,00 | 0,97 | 0,95 | 0,91 | 0,88 |
| 50                  | 0,99  | 0,98 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,86 | 0,82 | 0,78 | 0,74 | 0,70 |
| 60                  | 0,97  | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,79 | 0,74 | 0,69 | 0,65 | 0,60 | 0,55 |
| 70                  | 0,94  | 0,88 | 0,82 | 0,76 | 0,70 | 0,64 | 0,58 | 0,53 | 0,47 | 0,42 |
| 75                  | 0,93  | 0,86 | 0,79 | 0,72 | 0,65 | 0,58 | 0,52 | 0,47 | 0,41 | 0,36 |
| 80                  | 0,91  | 0,83 | 0,75 | 0,67 | 0,60 | 0,53 | 0,47 | 0,41 | 0,36 | 0,31 |
| 90                  | 0,87  | 0,76 | 0,66 | 0,57 | 0,48 | 0,41 | 0,34 | 0,29 | 0,24 | 0,19 |
| 95                  | 0,84  | 0,71 | 0,59 | 0,49 | 0,41 | 0,33 | 0,26 | 0,21 | 0,17 | 0,13 |
| 97                  | 0,83  | 0,68 | 0,55 | 0,45 | 0,36 | 0,28 | 0,22 | 0,17 | 0,13 | 0,10 |
| 99                  | 0,79  | 0,62 | 0,48 | 0,37 | 0,29 | 0,21 | 0,16 | 0,12 | 0,08 | 0,06 |
| При $C_S/C_V = 4,0$ |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| P, %                | $C_V$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,38  | 1,87 | 2,53 | 3,29 | 4,20 | 5,07 | 6,05 | 7,08 | 8,12 | 9,25 |
| 0,33                | 1,32  | 1,71 | 2,20 | 2,74 | 3,34 | 4,00 | 4,60 | 5,28 | 5,96 | 6,67 |
| 0,5                 | 1,30  | 1,67 | 2,10 | 2,60 | 3,13 | 3,69 | 4,25 | 4,81 | 5,43 | 6,02 |
| 1                   | 1,25  | 1,58 | 1,94 | 2,34 | 2,77 | 3,17 | 3,59 | 4,01 | 4,43 | 4,90 |
| 2                   | 1,21  | 1,48 | 1,77 | 2,07 | 2,38 | 2,72 | 3,00 | 3,28 | 3,55 | 3,90 |
| 5                   | 1,17  | 1,36 | 1,55 | 1,75 | 1,93 | 2,11 | 2,28 | 2,45 | 2,60 | 2,77 |
| 10                  | 1,11  | 1,26 | 1,38 | 1,51 | 1,61 | 1,72 | 1,82 | 1,90 | 2,00 | 2,05 |
| 20                  | 1,08  | 1,15 | 1,21 | 1,26 | 1,31 | 1,34 | 1,37 | 1,40 | 1,41 | 1,42 |
| 25                  | 1,06  | 1,11 | 1,15 | 1,19 | 1,21 | 1,23 | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,24 |
| 30                  | 1,05  | 1,08 | 1,10 | 1,12 | 1,13 | 1,13 | 1,12 | 1,12 | 1,10 | 1,09 |
| 40                  | 1,02  | 1,03 | 1,02 | 1,01 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,90 | 0,87 |

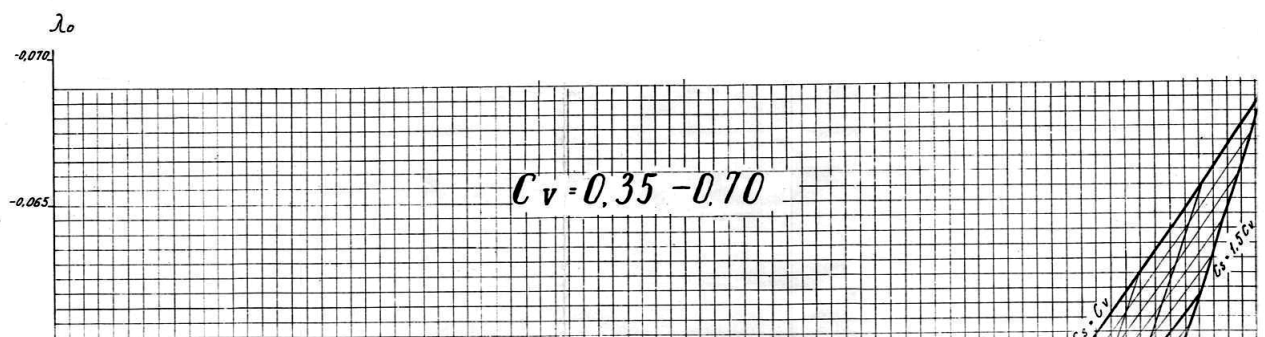
Продолжение прил. 3

| P,<br>%             | 0,1   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50                  | 0,99  | 0,98 | 0,95 | 0,92 | 0,89 | 0,85 | 0,82 | 0,78 | 0,75 | 0,71 |
| 60                  | 0,97  | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,79 | 0,75 | 0,70 | 0,66 | 0,62 | 0,57 |
| 70                  | 0,94  | 0,88 | 0,82 | 0,76 | 0,71 | 0,65 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,46 |
| 75                  | 0,93  | 0,86 | 0,79 | 0,72 | 0,66 | 0,60 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |
| 80                  | 0,91  | 0,83 | 0,75 | 0,68 | 0,61 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,36 |
| 90                  | 0,88  | 0,77 | 0,67 | 0,59 | 0,51 | 0,44 | 0,38 | 0,33 | 0,29 | 0,25 |
| 95                  | 0,85  | 0,72 | 0,61 | 0,52 | 0,44 | 0,37 | 0,32 | 0,26 | 0,22 | 0,18 |
| 97                  | 0,83  | 0,69 | 0,58 | 0,48 | 0,40 | 0,33 | 0,27 | 0,23 | 0,18 | 0,15 |
| 99                  | 0,80  | 0,64 | 0,52 | 0,42 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,17 | 0,14 | 0,11 |
| При $C_S/C_V = 5,0$ |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| P, %                | $C_V$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,40  | 1,95 | 2,66 | 3,51 | 4,44 | 5,40 | 6,43 | 7,54 | 8,64 | 9,83 |
| 0,33                | 1,33  | 1,76 | 2,27 | 2,88 | 3,44 | 4,20 | 4,76 | 5,50 | 6,20 | 6,90 |
| 0,5                 | 1,31  | 1,70 | 2,16 | 2,69 | 3,21 | 3,77 | 4,34 | 4,93 | 5,52 | 6,17 |
| 1                   | 1,27  | 1,61 | 1,98 | 2,38 | 2,79 | 3,21 | 3,65 | 4,06 | 4,50 | 4,94 |
| 2                   | 1,23  | 1,50 | 1,78 | 2,10 | 2,40 | 2,72 | 3,00 | 3,35 | 3,65 | 3,92 |
| 5                   | 1,17  | 1,36 | 1,55 | 1,74 | 1,90 | 2,08 | 2,22 | 2,41 | 2,54 | 2,71 |
| 10                  | 1,13  | 1,26 | 1,37 | 1,49 | 1,60 | 1,70 | 1,79 | 1,86 | 1,94 | 2,00 |
| 20                  | 1,08  | 1,15 | 1,21 | 1,25 | 1,30 | 1,32 | 1,34 | 1,36 | 1,36 | 1,39 |
| 25                  | 1,06  | 1Д1  | 1,15 | 1,17 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,22 | 1,22 | 1,22 |
| 30                  | 1,05  | 1,08 | 1,09 | 1,10 | 1,10 | 1,11 | 1,10 | 1,10 | 1,09 | 1,08 |
| 40                  | 1,02  | 1,02 | 1,01 | 1,00 | 0,98 | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,09 | 0,87 |
| 50                  | 0,99  | 0,97 | 0,94 | 0,92 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,78 | 0,75 | 0,71 |
| 60                  | 0,97  | 0,93 | 0,88 | 0,84 | 0,79 | 0,75 | 0,71 | 0,67 | 0,63 | 0,58 |
| 70                  | 0,94  | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,71 | 0,66 | 0,61 | 0,56 | 0,52 | 0,48 |
| 75                  | 0,93  | 0,86 | 0,79 | 0,73 | 0,67 | 0,62 | 0,56 | 0,51 | 0,47 | 0,42 |
| 80                  | 0,91  | 0,83 | 0,75 | 0,69 | 0,63 | 0,57 | 0,52 | 0,47 | 0,42 | 0,37 |
| 90                  | 0,88  | 0,77 | 0,68 | 0,61 | 0,53 | 0,47 | 0,41 | 0,36 | 0,32 | 0,27 |
| 95                  | 0,84  | 0,73 | 0,63 | 0,55 | 0,47 | 0,40 | 0,34 | 0,29 | 0,25 | 0,21 |
| 97                  | 0,82  | 0,70 | 0,60 | 0,51 | 0,43 | 0,36 | 0,31 | 0,26 | 0,22 | 0,18 |
| 99                  | 0,78  | 0,66 | 0,55 | 0,45 | 0,37 | 0,31 | 0,25 | 0,20 | 0,16 | 0,13 |

Продолжение приложения 3

| При $C_s/C_v = 6,0$ |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P, %                | $C_v$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|                     | 0,1   | 0,2  | 0,3  | 0,4  | 0,5  | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 0,10                | 1,41  | 2,02 | 2,80 | 3,68 | 4,58 | 5,54 | 6,57 | 7,63 | 8,79 | 10,0 |
| 0,33                | 1,34  | 1,80 | 2,34 | 2,92 | 3,55 | 4,20 | 4,84 | 5,48 | 6,16 | 6,88 |
| 0,5                 | 1,32  | 1,74 | 2,22 | 2,73 | 3,26 | 3,82 | 4,38 | 4,93 | 5,51 | 6,11 |
| 1                   | 1,29  | 1,63 | 2,01 | 2,40 | 2,81 | 3,22 | 3,63 | 4,03 | 4,44 | 4,86 |
| 2                   | 1,24  | 1,51 | 1,80 | 2,10 | 2,38 | 2,68 | 2,98 | 3,29 | 3,57 | 3,84 |
| 5                   | 1,18  | 1,37 | 1,55 | 1,73 | 1,89 | 2,05 | 2,20 | 2,36 | 2,51 | 2,66 |
| 10                  | 1,14  | 1,26 | 1,37 | 1,47 | 1,56 | 1,66 | 1,73 | 1,82 | 1,90 | 1,96 |
| 20                  | 1,08  | 1,14 | 1,19 | 1,23 | 1,27 | 1,30 | 1,32 | 1,34 | 1,36 | 1,37 |
| 25                  | 1,07  | 1,10 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1Д9  | 1,20 | 1,21 | 1,20 | 1,20 |
| 30                  | 1,04  | 1,07 | 1,08 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,09 | 1,08 | 1,07 |
| 40                  | 1,02  | 1,02 | 1,01 | 0,99 | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,89 | 0,87 |
| 50                  | 0,99  | 0,97 | 0,94 | 0,91 | 0,88 | 0,85 | 0,82 | 0,79 | 0,75 | 0,72 |
| 60                  | 0,96  | 0,92 | 0,88 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,72 | 0,68 | 0,64 | 0,60 |
| 70                  | 0,94  | 0,88 | 0,83 | 0,77 | 0,72 | 0,67 | 0,63 | 0,58 | 0,54 | 0,49 |
| 75                  | 0,93  | 0,86 | 0,80 | 0,74 | 0,68 | 0,63 | 0,58 | 0,53 | 0,49 | 0,44 |
| 80                  | 0,91  | 0,84 | 0,77 | 0,70 | 0,64 | 0,58 | 0,53 | 0,48 | 0,44 | 0,39 |
| 90                  | 0,88  | 0,78 | 0,70 | 0,62 | 0,55 | 0,49 | 0,43 | 0,38 | 0,33 | 0,29 |
| 95                  | 0,85  | 0,74 | 0,65 | 0,56 | 0,49 | 0,43 | 0,37 | 0,32 | 0,27 | 0,23 |
| 97                  | 0,83  | 0,72 | 0,62 | 0,53 | 0,46 | 0,39 | 0,33 | 0,28 | 0,24 | 0,20 |
| 99                  | 0,80  | 0,67 | 0,57 | 0,48 | 0,40 | 0,33 | 0,28 | 0,23 | 0,19 | 0,15 |









Н.Д. Тагильцев  
Ш.А. Салахутдинов  
Л.В. Горячевских

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Екатеринбург  
2011